



Для узла Y построим пересечение его первой окрестности $Y_1^{i_1}$ с $N-1$ окрестностью $X_{N-1}^{i_{N-1}}$. В это множество входит, как минимум, один узел. Обозначим этот узел как

$$Y_1^X = Y_1^{i_1} \cap X_{N-1}^{i_{N-1}}$$

, для этого узла(ов) опять строим пересечение его первой окрестности с предыдущей окрестностью $X_{N-2}^{i_{N-2}}$ точки X . Прodelывая эту итерацию N раз, получим полный набор кратчайших маршрутов от X к Y с числом переходов N . Остается сравнить эти маршруты по эффективности доставки, сопоставляя соответствующие метрические функции динамической маршрутизации.

Для связанной конфигурации сенсоров, когда между любыми двумя узлами можно построить маршрут их соединяющий, метод окрестностей всегда позволит найти решение. Методом от противного легко показать, что маршрут, полученный при помощи метода окрестностей, является кратчайшим из всего набора возможных маршрутов.

Литература

1. Bose, P., Morin, P., Stojmenović, I., & Urrutia, J. (2001). Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks. *Wireless networks*, 7(6), 609-616.
2.] A.M. Sukhov, D.Yu. Chemodanov, The Neighborhoods Method and Routing in Sensor Networks, ICWiSe2013, Malaysia, Saravak, December 2013, pp. 7-12
3. Chen, Dazhi, and Pramod K. Varshney. "A survey of void handling techniques for geographic routing in wireless networks." *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE 9.1 (2007): 50-67
4. Y. I., Park, C. S., Song, I. C., & Kim, M. H. (2009). An efficient void resolution method for geographic routing in wireless sensor networks. *Journal of Systems and Software*, 82(6), 963-973.
5. Newsome J. and Song D., Gem: Graph embedding for routing and data-centric storage in sensor networks without geographic information. In *SenSys'03*. ACM, 2003

Г.А. Иванова, А.В. Воробьев, Г.Р. Шакирова

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ИНКЛИНОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

Погрешность чувствительных датчиков большинства современных магнитометрических систем во многом обусловлена наличием геомагнитных вариаций (ГМВ) различной природы происхождения. В настоящее время задача исследования и анализа параметров ГМВ, как правило, решается посредством се-



ти магнитных обсерваторий, расположенных преимущественно на территории европейской части континента [1].

В ряде известных работ отечественных и зарубежных ученых (Афанасьев Ю. В., Котенко Г. И., Миловзоров Г. В., Ломаев Г. В., Ковшов Г. Н., Кириаков В. Х., Любимов В. В., Ripka P., Smith C., Schneider R., Wang D., Tipek A. и др.) дается весьма широкое представление о существующих подходах к оценке параметров слабых магнитных полей, построению на их основе магнитометрических информационно-измерительных систем и способах выявления их метрологических характеристик [1].

Однако, в перечисленных работах отсутствует унифицированный подход к построению аппаратно-программных комплексов и средств, обеспечивающих регистрацию, мониторинг, анализ геомагнитного поля (ГМП) и его вариаций, а также поддержку принятия решений в условиях неопределенности.

В настоящей работе предлагается геоинформационная система (ГИС), обеспечивающая решение задачи поддержки принятия решений при планировании и проведении инклинометрических исследований на основе технологии геобраузеров.

Традиционно инклинометрические измерения проводят с целью решения задачи подземной ориентации и навигации. При выборе инклинометрических систем предпочтение, как правило, отдается магнитометрическим инклинометрам, обладающим достаточной точностью, приемлемой ценой и возможностью совмещения с процессом бурения. Наиболее широкое распространение в нашей стране и за рубежом получили магнитометрические инклинометры с неподвижно закрепленными на шасси тремя магнитометрами и тремя акселерометрами [2].

Большинство качественных показателей работы инклинометрических систем определяется допустимыми значениями погрешностей измерений азимута и зенитного угла. В свою очередь, задача минимизации и обеспечения приемлемых значений погрешностей измерений стоит особенно остро, что усугубляется малоэффективностью информационных систем специального назначения, обеспечивающих автоматизированный расчет и анализ параметров окружающей среды, а также оценку возможности применения измерительной техники в соответствующих условиях.

Разработанная авторами ГИС специального назначения построена на базе веб-технологий и обеспечивает широкий функционал в области расчета параметров геомагнитного поля, его вариаций и аномалий, а также визуализации их распределения в земном и околоземном пространстве.

Оценка текущего значения ГМВ реализуется посредством процедуры сравнения. Для этого текущие параметры ГМП сравниваются с эталонными значениями, например, с расчетными значениями вектора ГМП внутриземных источников в заданных пространственно-временных координатах [3]. Проведенный анализ позволяет судить о степени отклонения и характере распределения полученных данных от известных эталонных значений, наличии или отсут-



ствии ГМВ в исследуемой области и оценки размеров и силовых характеристик выявленных аномалий.

Решение о возможности проведения инклинометрических работ принимается по результатам сравнения допустимых значений ГМВ с текущими. Оценка допустимых ГМВ реализована следующим образом.

Выходной сигнал магнитометра при условии наличия ГМВ принимает вид:

$$T_i' = T_i + \Delta T = k_T (H_i + \Delta H) + T_o, \quad (1)$$

где T_i – «чистый» сигнал, ΔT – помехи, k_T – коэффициент преобразования магнитометра, H_i – проекция напряженности ГМП на ось чувствительности i -го магнитометра, ΔH – ГМВ, обусловленные геомагнитными аномалиями, наличием обсадных колонн или магнитонеустойчивыми зонами, T_o – нулевой сигнал.

Значение невозмущенного ГМП H рассчитывается для каждой точки Земли и для определенного периода времени [3, 4]. Отклонения наблюдаемых значений магнитного поля Земли H' от нормального поля H являются аномалиями магнитного поля или ГМВ:

$$\Delta H = H' - H. \quad (2)$$

При скважинных исследованиях отклонения напряженности ГМП от прогнозируемого значения могут свидетельствовать о наличии геомагнитных аномалий, т. е. о расположении рудных пород вблизи скважины. Следовательно, помимо основной задачи определения пространственной ориентации нефтяных и газовых скважин можно использовать инклинометрические системы для решения геологических задач, а именно, осуществлять поиск тел с повышенной магнитной восприимчивостью и определять положение магнитных масс в околоскважинном пространстве.

Выражение (1) в безразмерном виде примет следующий вид:

$$\frac{T_i'}{k_T \cdot H} = \frac{T_i + \Delta T}{k_T \cdot H} = T_i^o + \frac{\varepsilon_h}{100\%}, \quad (3)$$

$$T_i^o = \frac{k_T \cdot H_i + T_o}{k_T \cdot H},$$

где T_i^o – выходной сигнал с магнитометра при условии отсутствия ГМВ в безразмерном виде, где ε_h – относительное отклонение магнитного поля Земли от нормы (значения сигнала, измеренного эмпирически на поверхности скважины и принятого за эталонное значение), выраженное в процентах.

Подставляя в формулу для расчета азимутального угла значения выходных сигналов магнитометров при условии отсутствия и наличия ГМВ, получим абсолютную погрешность измерения азимута:

$$\Delta \alpha = |\alpha_h - \alpha_h'|, \quad (4)$$

где



$$\alpha_h = \arctg \left[\frac{(T_1 \sin \varphi + T_2 \cos \varphi)}{T_2 \sin \varphi \cos \theta - T_1 \cos \varphi \cos \theta - T_3 \sin \theta} \right],$$

$$\alpha'_h = \arctg \left[\frac{(T'_1 \sin \varphi + T'_2 \cos \varphi)}{T'_2 \sin \varphi \cos \theta - T'_1 \cos \varphi \cos \theta - T'_3 \sin \theta} \right].$$

Согласно РД 153-39.0-072-01 «Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ приборами на кабеле в нефтяных и газовых скважинах», основная погрешность измерения азимута должна удовлетворять условию $|\Delta\alpha| \leq 2$ град. Таким образом, анализ полученных значений $\Delta\alpha$ позволяет получить допустимое значение ГМВ, при котором инклинометрические системы удовлетворяют точностным требованиям. Например, для месторождений на широте $60,95^\circ$ допустимой, согласно расчетам, является величина ГМВ равная 0,85 %. Превышение заданного значения свидетельствует о наличии недопустимых для магнитометрической инклинометрической системы ГМВ.

Результаты проведенных расчетов для различных месторождений представлены в таблице 1. На рис. 1 представлена картина распределения допустимых ГМВ по всей поверхности Земного шара.

Таблица 1

Допустимые значения ε_h

Месторождения	Аскино (Республика Башкортостан)	Нижневартовск (Ханты- Мансийский автономный округ)	Ноябрьск и Муравленко	Красно- селькуп	Тазовский	Мессояхские и Новопор- товское место- рождения
			Ямало-Ненецкий автономный округ			
Широта, град	56,05	60,95	63,2	65,7	67,45	70
ε_h , %	1	0,85	0,75	0,65	0,6	0,5

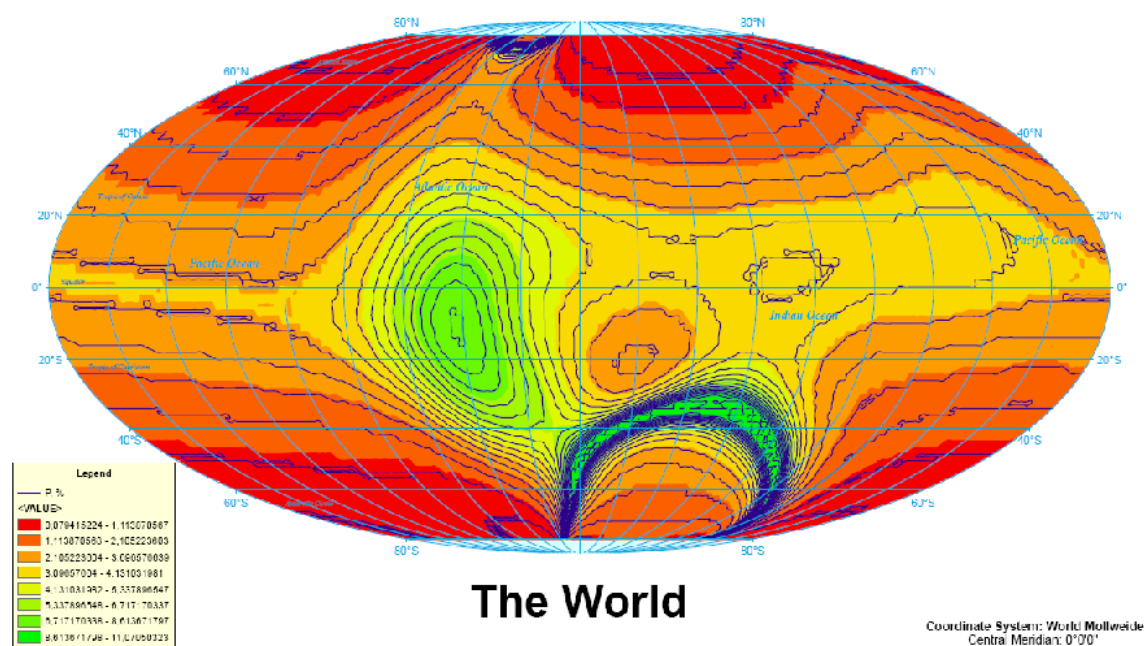


Рис. 1. Изолинии допустимых ГМВ при инклинометрии скважин

Таким образом, методика расчета параметров ГМП и его вариаций и сравнение допустимых значений ГМВ с текущими позволяет в режиме реального времени предоставить информацию, необходимую для поддержки принятия решения при планировании и проведении инклинометрических исследований. Предлагаемая ГИС также обеспечивает картографическую визуализацию областей геомагнитных аномалий в двух- и трехмерном виде с ранжированием по степени возможного воздействия на показания информационно-измерительной техники вообще и магнитометрических инклинометров в частности.

Литература

1. Воробьев, А. В. Вопросы проектирования цифровых геомагнитных обсерваторий (монография) / А. В. Воробьев – LAP Lambert Academic Publishing G mbh & Co. KG, Berlin, 2012. – 133 с.
2. Ковшов, Г. Н. Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении / Г. Н. Ковшов, Г. Ю. Коловертнов.–Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001.– 228 с.
3. Ковшов, Г. Н. Инклинометры. Основы теории и проектирования / Г. Н. Ковшов, Р. И. Алимбеков, А. В. Жибер. – Уфа: Гилем, 1998. – 380 с.
4. ГОСТ 25645.126-85. Поле геомагнитное. Модель поля внутриземных источников. – Москва: Издательство стандартов, 1990